

(様式2)

## 学位論文の概要及び要旨

氏 名 片沼秀明

題 目 高周波焼入れ歯車の曲げ・面圧強度および衝撃強度に対する  
最適焼入れ条件の選定法

### 学位論文の概要及び要旨

各種機械装置の原動機の出力増加にともなう伝達トルク増大に対して、変速装置の大きさに制限があり、小形・軽量化に対する要求のため、動力伝達用歯車の強度増強が強く望まれている。歯車の強度増強をはかるために、一般に、浸炭焼入れ、高周波焼入れやショットピーニングなどの表面硬化処理が施され、曲げ疲労強度、面圧疲労強度などが向上されている。

高周波焼入れは、高周波による電磁誘導作用を利用し、被加熱物の電気抵抗により発生したジュール熱を熱源とする表面熱処理であり、浸炭焼入れに比べて焼入れ時間が短い、インライン化・省エネルギー化・省力化が容易、低コスト、作業環境が比較的清潔、表面に高い圧縮残留応力を得られるなどの多くの特長を持ち、シャフト類の局部加熱に使用されている。しかし、歯車のような凹凸形状の部品には対応が難しく、凹凸形状の部品を処理するコイルの設計は、相当な技術と経験を必要とする。また、新しく複雑形状の部品を処理するには事前に試し焼き、検査を行うなど、特別な初期品質管理が必要となっている。このため、高周波焼入れ歯車の最適な加熱条件は試行錯誤によって決定されているのが現状であり、硬化層と疲れ強さに及ぼす焼入れ条件の影響を明らかにし、歯車の焼入れ条件の選定法を確立することが強く望まれている。

一般に高周波焼入れは、急速短時間加熱であるため鋼中の炭素の拡散が不十分になり、オーステナイト化加熱温度が炉加熱に比べ高めに設定される。オーステナイト化加熱温度が高いと均一なオーステナイト組織を得ることが難しくなるため、高周波焼入れに大きな影響を及ぼす焼入れ前の組織が重要となる。焼入れ前の組織の違いについて、高周波焼入れ歯車の硬化層範囲の測定、硬さ測定、組織観察および曲げ疲労試験の結果から、曲げ疲労強度に及ぼす硬化層の表面硬さや有効硬化層深さの詳細な資料がない。

一方、高周波焼入れ歯車などの表面硬化処理は焼入れ後の焼戻しにより、残留応力の解放や表面硬さが増えるため、高周波焼入れ歯車の曲げ疲労強度は焼戻し温度によって大きく異なるものと考えられる。焼入れ後に行われる焼戻し処理では、焼戻し温度が適切な場合、靱性が向上することが知られている。機械材料の靱性を示す衝撃値に対する焼戻し温度の影響については、シャルピー衝撃試験やアイゾット衝撃試験などによってもさまざまな検討が

なされているが、表面硬化処理として使用される高周波焼入れで、歯車の衝撃強度に及ぼす焼戻し温度の影響について系統的に研究を行った例はほとんどない。

また、高周波焼入れによる面圧強度と硬化層に関する研究としては、実験による残留応力・硬化層と面圧疲労強度の関係が報告されているが、この方法では、条件が異なる毎に残留応力を測定する必要がある。高周波誘導加熱を電磁解析して、残留応力・硬化層を求め、面圧疲労強度に及ぼす高周波焼入れ条件の影響についての報告は、されていない。これらのことから、高周波焼入れ歯車の曲げ・面圧疲労強度および衝撃強度に対する硬化層の影響を明らかにし、最適焼入れ条件を選定することが求められている。

本論文では、高周波焼入れ歯車の材料、前処理および加熱条件が硬化層と曲げ・面圧疲労強度および衝撃強度に及ぼす影響を明らかにし、高周波焼入れ歯車の曲げ・面圧疲労強度設計および衝撃強度設計について、最適焼入れ条件を選定する資料を提供することを目的とする。

まず、S35C、S45C圧延鋼の高周波焼入れ歯車について、硬化層範囲の測定、硬さ測定、組織観察および曲げ疲労試験を行い、硬化層と曲げ疲労強度に及ぼす加熱時間、加熱電力および周波数の影響などについて検討する。また、S35C、S45C圧延鋼を調質処理した高周波焼入れ歯車についても、硬化層範囲の測定、硬さ測定、組織観察および曲げ疲労試験を行い、前処理の影響について検討を加える。

次に、高周波焼入れ歯車の焼戻しによる曲げ疲労強度および衝撃強度の影響を調べるため、材料にはS35C炭素鋼、前処理には調質鋼および焼ならし鋼を用いて、硬化層範囲の測定、硬さ測定、組織観察および曲げ疲労試験や衝撃試験を行い、焼戻し効果について検討を行う。

さらに、高周波焼入れ歯車の面圧疲労強度と高周波加熱条件の影響について検討するための基礎として、歯面研削費用が節約できる単純形状のS35C焼ならし鋼ローラを用い、FEMによるシミュレーション解析で残留応力および硬化層を求める。高周波焼入れを施したS35C焼ならし鋼ローラに対して、硬化層範囲の測定、硬さ測定、組織観察および面圧疲労試験を行い、シミュレーション解析の解析結果と比較し、有効性を確認する。得られた残留応力・硬化層と面圧疲労強度から、面圧疲労強度に及ぼす高周波焼入れ条件の影響について検討を行う。これらの検討結果より、高周波焼入れ歯車の曲げ・面圧疲労強度および衝撃強度に対する最適焼入れ条件を選定するための指針を提示する。